



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des
transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section recherche énergétique et cleantech

Rapport final du 1er juillet 2024

AMM-FAUNA

Mitigation fine : surveillance autonome par capteurs multiples des chauves-souris pour évaluer les collisions et les vols d'évitements à proximité des parcs éoliens



Source: VM, 2024



HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch



Prestataire de subvention :

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section recherche énergétique et cleantech
CH-3003 Berne
www.recherche-energetique.ch

Cofinancement : -

Bénéficiaires de la subvention :

HEIG-VD Route de Cheseaux 1 CH-1401 Yverdon-les-Bains
Swiss Wildlife Company Sàrl, Les Bulles 36, CH-2300 La Chaux-de-Fonds

Auteur(s) :

V. Martin, Swiss Wildlife Company (valeremar@gmail.com)

P. Bressy, HEIG-VD (pierre.bressy@heig.ch)

M. Kunze, HEIG-VD (marc.kunze@heig.ch)

Suivi du projet à l'OFEN :

Lionel Perret, lionel.perret@planair.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/502331-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport.



Résumé

L'objectif de ce projet est de développer un système optique de surveillance des éoliennes, fonctionnant automatiquement 7j/7 de nuit afin de détecter les collisions entre les éoliennes et les chauves-souris mais aussi pour documenter le contexte de ces collisions et les vols d'évitement. Le système est destiné à simplifier et réduire les coûts des études d'impact post-construction.

Une étude préliminaire ainsi que des échanges avec des chercheurs internationaux ont permis de proposer une solution, certes nouvelle mais basée sur des acquis récents et du matériel testé. Le risque technologique devait ainsi rester faible. Les postulats posés se sont malheureusement révélés incomplets voire faux. Suite à ce constat, un concept complètement nouveau basé sur la théorie de la détection optique a été développé puis testé itérativement. Du matériel optique, nouveau pour cette application, a été évalué puis combiné. La planification initiale du projet en a été fortement perturbée.

Un prototype d'un système optique de surveillance a pu être développé, construit et testé avec succès. Ce système comprend des caméras, un détecteur IR, des moteurs et, un système optique permettant des mouvements rapides pour couvrir le rotor d'une éolienne. Un dispositif peut être déployé de manière à obtenir une surveillance quasi-exhaustive. Un test de la procédure de déploiement en conditions réelles a permis de confirmer le concept de mise en service du système de mesure sur un site éolien. Le prototype est actuellement éprouvé en régime opérationnel continu afin de vérifier sa fiabilité et la généralisation des algorithmes à toutes les conditions atmosphériques et météorologiques. Ces données sont collectées dans une base de données de référence.

Zusammenfassung

Ziel des Projekts ist es, ein optisches Überwachungssystem für Windkraftanlagen zu entwickeln, das automatisch 7 Tage die Woche nachts arbeitet, um Kollisionen zwischen Windkraftanlagen und Fledermäusen zu erkennen und die Hintergründe solcher Kollisionen und Vermeidungsflüge zu dokumentieren. Das System soll dazu beitragen, die Umweltverträglichkeitprüfungen nach dem Bau zu vereinfachen und die Kosten zu senken.

Eine Vorstudie sowie der Austausch mit internationalen Forschern ermöglichen es, eine Lösung vorzuschlagen, die zwar neu war, aber auf aktuellen Erkenntnissen und getestetem Material basierte. So sollte das technologische Risiko gering bleiben. Die aufgestellten Postulate haben sich leider als unvollständig oder sogar falsch erwiesen. Daraufhin wurde ein völlig neues Konzept entwickelt, das auf der Theorie der optischen Detektion basierte und iterativ getestet wurde. Optisches Material, das für diese Anwendung neu war, wurde evaluiert und kombiniert. Die ursprüngliche Planung des Projekts wurde dadurch stark beeinträchtigt.

Ein Prototyp des Überwachungssystems konnte erfolgreich entwickelt, gebaut und getestet werden. Das System besteht aus Kameras, einem IR-Detektor, Motoren und einem optischen System, das schnelle Bewegungen ermöglicht. Das endgültige System kann so eingesetzt werden, dass es eine nahezu lückenlose Überwachung ermöglicht. Ein Feldtest des Einsatzverfahrens bestätigte das Konzept der Inbetriebnahme des Systems auf einer Windkraftanlage. Der Prototyp wird derzeit im Dauerbetrieb erprobt, um seine Zuverlässigkeit und die Verallgemeinerbarkeit der Algorithmen auf alle atmosphärischen und meteorologischen Bedingungen zu überprüfen. Diese Daten sind in einer Referenzdatenbank gesammelt.



Summary

The aim of this project is to develop an optical system for monitoring wind turbines, operating automatically 7 days a week at night, in order to detect collisions between wind turbines and bats and to document the context of these collisions as well as avoidance flights. The system should simplify and reduce the cost of post-construction impact studies.

A preliminary study and discussions with international researchers have enabled us to propose a solution that, while new, is based on recent experience and tested equipment. The technological risk should therefore remain low. Unfortunately, the assumptions made proved to be incomplete or even wrong. Following this observation, a completely new concept based on the theory of optical detection was developed and then iteratively tested. Optical equipment, new for this application, was evaluated and then combined. This had a major impact on the initial planning of the project.

A prototype of the optical surveillance system was successfully developed, built and tested. The system comprises cameras, an IR detector, motors and an optical system enabling rapid movement. The final system can be deployed to provide virtually complete surveillance. A field test of the deployment procedure has confirmed the concept of commissioning the system on a wind farm site. The prototype is currently being tested under continuous operational conditions to verify its reliability and the generalisation of the algorithms to all atmospheric and meteorological conditions. These data are compiled in a reference database.

Messages clés («Take-Home Messages»)

- Un prototype novateur d'un système optique de surveillance des éoliennes a été développé pour détecter des collisions entre des éoliennes et des chauves-souris. Le système permet aussi de comprendre le contexte de ces collisions parce qu'il fonctionne en temps réel (par rapport aux collisions).
- Ce système doit permettre de simplifier et de réduire les coûts des études d'impact post-construction des parcs éoliens. Il permet ainsi de proposer une optimisation fine entre la production énergétique et la mitigation des impacts sur les chauves-souris, en informant précisément sur l'occurrence et le contexte des collisions.



Table des matières

Résumé.....	3
Zusammenfassung.....	3
Summary	4
Messages clés («Take-Home Messages»).....	4
Liste des abréviations.....	6
1 Introduction	7
1.1. Contexte et motivation.....	7
1.2. Objectifs du projet.....	8
2 Activités, méthodes, résultats et discussions	8
3 Conclusions et perspectives	23
4 Coopération nationale et internationale	24
5 Publications et autres communications	24
6 Bibliographie	24
7 Annexe	25
8 Contrôle interne du projet (confidentiel)	33
9 Plan de gestion des données et stratégie open access/data/model interne (confidentiel)	33



Liste des abréviations

OFEN	Office fédéral de l'énergie
HMI	Human Machine Interface
NIR	Near Infrared ou infrarouge proche
IR	Infrarouge



1 Introduction

1.1. Contexte et motivation

L'impact réel par collision des éoliennes sur les chauves-souris est une thématique récurrente pour chaque parc éolien. Chaque éolienne de chaque parc a un impact différent qui est mal appréhendé lors des études d'impact pré-construction. Habituellement, ces collisions sont mesurées indirectement en cherchant manuellement des cadavres tombés au sol. Cette recherche fastidieuse devrait avoir lieu idéalement chaque jour mais dans la pratique elle est plutôt hebdomadaire à cause des forts coûts inhérents à cette méthode. Ces résultats offrent donc uniquement une vue partielle et incomplète de la situation. Ces mesures ponctuelles des collisions sont ensuite extrapolées par des calculs statistiques pour de multiples parcs et les périodes d'exploitation.

Dans la pratique pour protéger les chauves-souris, des algorithmes restreignent le régime opérationnel des éoliennes en fonction du risque de collisions (voir par exemple la solution ReneBaT, Behr et al., 2015). Ces solutions algorithmiques ont permis de réduire significativement le nombre de collisions des chauves-souris et sont déployées dans les parcs éoliens.

Cependant, il n'existe pas un estimateur de collisions universel, précis et utilisable en toutes circonstances (Bernardino et al., 2013). Cela implique des efforts importants de la part des opérateurs de parc pour régler au mieux les algorithmes, peut-être en étant très conservateur. En effet le nombre de collisions varie largement entre les sites et les machines, soulevant également des questions méthodologiques sur la mesure de la présence des chauves-souris (Kunz et al., 2007). De plus, les méthodes de surveillance (acoustique) des chauves-souris démontrent des limitations inhérentes à toutes les études sur la faune sauvage (Voigt et al., 2021, Solick et al., 2020).

Les comportements d'évitement en vol à proximité des éoliennes ne sont pas documentés. Il s'agit d'une lacune importante pour 1) établir une proportionnalité de l'impact et, évidemment pour 2) proposer des mesures de mitigation plus fine qu'actuellement dans le but d'optimiser la production et la réduction des collisions, par opposition aux mesures conservatives actuelles (basées surtout sur des paramètres météorologiques, comme le vent Adams et al., 2021). Cet ajustement fin pourrait permettre une cohabitation plus harmonieuse dans le sens de diminuer les pertes de production énergétique sans remettre en cause les acquis de la protection des chauves-souris. Le nombre de collisions en proportion du nombre de vols de proximité n'est pas chiffrable, comme les évitements précoces des éoliennes. Le seul chiffre incontestable est le nombre de cadavres découverts sur la base duquel des extrapolations sont réalisées et alimentent les débats scientifiques, pseudoscientifiques et non-scientifiques. Cette information lacunaire sur la biologie des chauves-souris génère des débats (et des polémiques) sur la thématique de l'impact des éoliennes.

L'approche actuelle et les faiblesses dans la compréhension biologique de ce groupe d'espèces font naître naturellement des doutes et alimentent des controverses qui appellent à de nouvelles études répétitives (et coûteuses). Ces lacunes permettent difficilement de proposer d'éventuelles mesures de mitigation fine en temps réel aux exploitants des parcs éoliens. Un réglage fin dans le temps, basé sur le risque réel (et non pas supposé ou statistique) de collisions est évidemment avantageux pour la production d'énergie, en comparaison à l'utilisation de règles génériques, basées sur des facteurs météorologiques (vitesse du vent, températures) et appliquées globalement. L'intérêt commun de la société est de pouvoir garantir la production énergétique sans le faire aux dépens de la protection des espèces.

Ce constat force les chercheurs dans le domaine des impacts environnementaux des éoliennes à considérer d'autres méthodes de mesure des chauves-souris, plus efficientes, tout en contrôlant les coûts de déploiement et d'opération. Un état des lieux actualisé de ces travaux a été effectué par L. Münter (Nateco AG). Elle a conduit des échanges directs avec les chercheurs à la pointe du savoir-faire dans ce domaine au niveau international, afin d'obtenir les informations pratiques sur les méthodes utilisées. L'utilisation de caméras est omniprésente chez tous ces acteurs.



1.2. Objectifs du projet

Le but est de développer un dispositif optique automatique multi-capteurs apportant des solutions aux limitations technologiques connues, et répondant aux exigences d'une mesure autonome et quasi-exhaustive dans le temps. Il s'agit d'obtenir une information détaillée pour supporter les processus décisionnels de mitigation, menant par exemple à des modifications temporaires du régime opérationnel des rotors. Le système doit donc être plus performant qu'un simple échantillonnage de cadavres au sol.

L'attention est portée sur une mesure autonome multi-capteurs. D'un point de vue technique, l'effort se concentre sur les logiciels de traitement des images en temps réel, sur les « workflows » et, sur les systèmes asservis mobiles industriels. D'un point de vue pratique, le dispositif doit pouvoir être déployé aisément à proximité des éoliennes et fonctionner sans interruption pendant plusieurs mois. La fusion des informations multi-capteurs permet d'évaluer le risque réel de collision dans le temps et le contexte lors duquel les collisions se produisent (ou sont évitées !). Le système réalise des mesures exhaustives dans le temps pour quantifier le risque propre à chaque éolienne et, ainsi servir à un plan de mitigation fin et efficient.

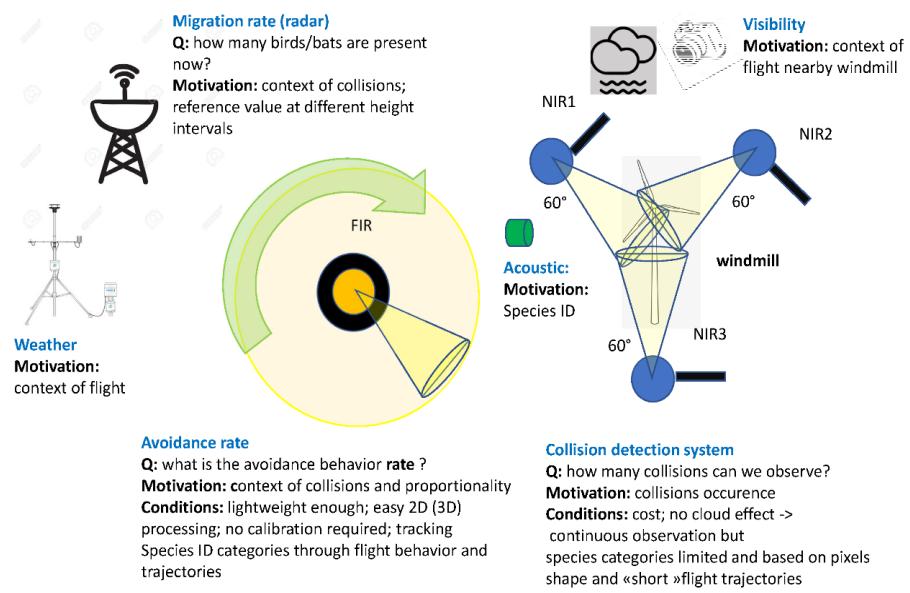
L'automatisme du dispositif avec un fonctionnement 7j/7 de nuit doit offrir la possibilité d'effectuer des mesures complètes à des coûts comparativement faibles pour les études post-constructions. Le résultat ne dépend alors plus d'un échantillonnage temporel et de modèles statistiques. La décision sur de possibles mesures de mitigation fine peut alors être prise sur la base de données solides. A noter que le dispositif n'a pas vocation à rester de manière permanente sur un site éolien mais il doit livrer un état précis de l'impact réel pour chaque machine.

Pour la planification des mesures de mitigation fine, le dispositif est destiné non pas uniquement à dénombrer les collisions, mais aussi à documenter le comportement des chauves-souris à proximité des éoliennes. Il permet ainsi de comprendre, ce qui s'est produit, avant, pendant et après une collision et de comparer ce contexte aux périodes sans collision. Le cas trivial, et qui est la base actuellement pour définir des modifications du régime opérationnel des éoliennes, est l'absence versus la présence de chauves-souris définissant grossièrement l'absence ou l'occurrence des collisions. Or la simple présence de chauves-souris à hauteur du rotor n'est pas synonyme nécessairement de collisions.

2 Activités, méthodes, résultats et discussions

Phase 1 : nouveaux concepts et refonte du système

Un dispositif a été proposé grâce à une étude préliminaire (résumée en annexe) réunissant des informations de tiers ayant une expertise de la mesure des chauves-souris dans le voisinage des rotors d'éoliennes. La figure 1 montre le concept qui intégrait ce savoir et, visait à combler les lacunes connues.



Distributed multisensors windmill monitoring system

Swiss Wildlife Company, 07 -2021

Figure 1 : description du dispositif proposé sur la base d'informations de tiers et présentée dans l'offre écrite du projet. Les postulats formant le fondement de ce dispositif ont cependant été rejetés lors de calculs effectués au début de ce projet.

Nos analyses théoriques, nos consultations auprès des représentants de caméras (différents fabricants mondiaux) et de chercheurs dans le domaine de l'optique ont mené à l'invalidation des postulats sous-jacents au dispositif de la figure 1, ce qui a nécessité une modification complète du concept de la figure 1. Une solution novatrice adaptée aux objectifs de la surveillance des rotors d'éoliennes et tenant compte des technologies sur le marché a donc été élaborée. Pour ce faire, nous avons consulté des représentants du monde entier, suivi des séminaires et, exposé nos défis à des spécialistes de l'optique, qui ont pu nous guider dans nos choix. Un résultat de ces échanges a été la singularité de notre tâche, qui nous menait à des réponses pleines d'incertitudes. Le message principal a été que les spécifications des produits ne sont pas suffisantes pour juger de leur capacité réelle dans le contexte de notre application. Une des raisons est que le système fonctionne de nuit à l'extérieur. Les caméras IR se comportent de plus différemment des caméras dans le spectre visible pour des raisons physiques. Les représentants des produits du marché présentent aussi les caractéristiques de leur produit par rapport aux applications les plus courantes et, certaines affirmations ne s'appliquent pas aux chauves-souris.

D'importants efforts, initialement non planifiés, ont été consentis dans les investigations des propriétés des caméras en situations réelles, c'est-à-dire la détection des chauves-souris en extérieur et autour des éoliennes. Un conseil est revenu de manière récurrente : il faut les mettre en situation pour les évaluer. Plusieurs caméras ont donc été louées, maîtrisées et, évaluées pendant des semaines sur différents sites (fig. 2). Ces travaux se sont révélés nécessaires et fructueux puisqu'ils ont mené à une refonte complète du dispositif initial de la figure 1, y compris en ce qui concerne les choix technologiques et les choix du matériel. A noter que le choix technologique du dispositif initial (fig. 1) provenait des expériences de tiers.



Figure 2 : caméra de la marque FLIR initialement prévue et testée dans le projet et qui n'a finalement pas été retenue à cause de ses spécifications.

Les principales raisons pour cette refonte sont liées à la résolution des caméras thermiques, le faible contenu informatif de ces caméras, la détectabilité des chauves-souris, les propriétés physiques du spectre IR, l'atmosphère, le lourd dispositif d'éclairage NIR (fig. 1) mais aussi les désavantages conceptuels des approches courantes, par exemple pour le déploiement en situation réelle. En d'autres termes, la solution envisagée au départ ne pouvait offrir ni une surveillance exhaustive du volume balayé par le rotor d'une éolienne moderne, ni une détection efficiente, ni une identification des cibles suffisantes. D'autres technologies ont dû être considérées.

Les principaux défis d'ingénierie ont pu être établis :

- Une solution pour pallier la faible résolution des caméras doit être trouvée.
- Le modèle de caméra doit être sélectionné avec soin et être basé sur des mesures en conditions réelles. Les spécifications initiales (représentant et fabricant) ne sont pas suffisantes.
- Le système, matériel et logiciel, doit être élaboré sur la base des caractéristiques des caméras sélectionnées.

Les caméras ont été testées en conditions réelles, c'est-à-dire en considérant aussi bien les caractéristiques des chauves-souris que les éoliennes, pour déterminer leurs propriétés dans le contexte de notre application (fig. 3 - 6). Sur la base de ces résultats, des solutions ont été imaginées, évaluées sur des bases théoriques, améliorées, exposées aux fabricants/représentants et validées respectivement invalidées sur la base de mesures spécifiques à notre application (fig. 7). Un processus itératif a été privilégié. Les mesures ont eu lieu sur un site éolien, sur d'autres sites abritant des chauves-souris et, aussi en utilisant des cibles artificielles (drone, maquette 3D ; fig. 3 à gauche et fig. 6). Avec suffisamment de persévérance, des images de chauves-souris ont pu être collectées par les caméras en phase de test.

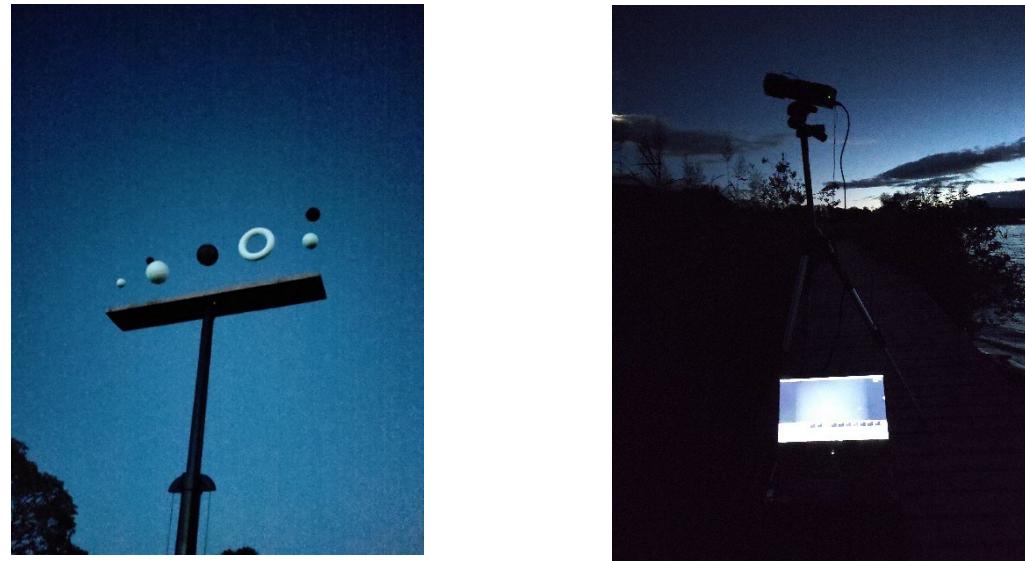


Figure 3 : à gauche, dispositif artificiel de test monté sur un mât de plusieurs mètres de hauteur pour évaluer la détection de cibles en fonction de leur taille, de leur couleur et des matériaux; à droite, caméra connectée à un ordinateur de nuit en extérieur pour tester ses propriétés sur de vrais chauves-souris.

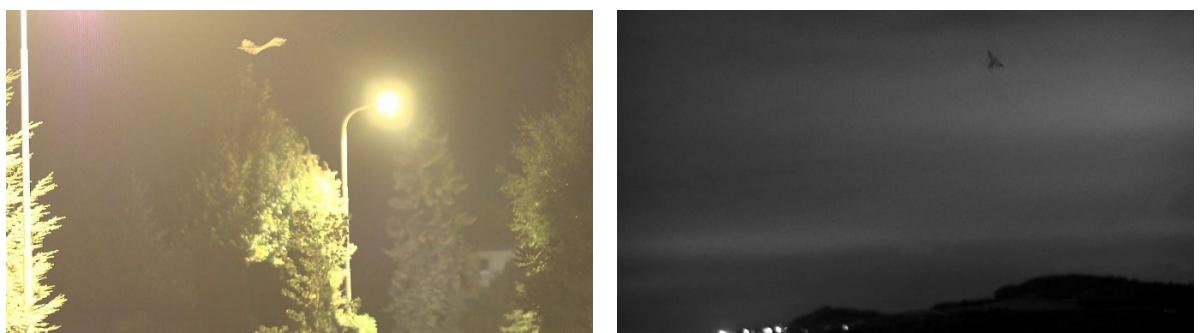


Figure 4 : illustration d'images de chauves-souris réalisées dans différentes conditions lumineuses et avec différents modèles de caméra.



Figure 5 : éolienne observée avec un type de caméra de nuit. L'éclairage clignotant de la nacelle peut perturber la mesure.



Figure 6 : en haut, un drone avec une peluche de 15 cm de diamètre suspendu par une ficelle de 1 mètre (point noir au-dessous du drone). Cette dernière est visible de loin (> 100 - 150 m) lors de nuit claire. En bas, une balle d'un diamètre de 4cm noir ou blanche est visible à une distance de 140 mètres de nuit (au centre au-dessus de l'horizon proche de l'épicéa par nuit claire). La qualité de l'image est cependant un défi pour des algorithmes de détection mais elle est suffisante pour reconnaître les objets à l'œil nu.

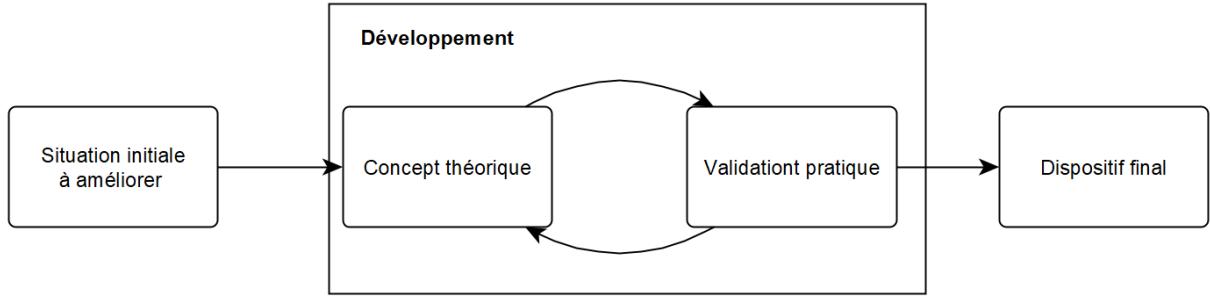


Figure 7 : le nouveau plan de travail de la première phase du projet implique une immersion forte du matériel en situation réelle afin de tester les capacités de détection réelles mais aussi l'effet de facteurs perturbateurs (par exemple : fig. 5).

Des calculs théoriques ont complété les mesures de terrain (fig. 8) afin d'évaluer différentes configurations pour le dispositif.

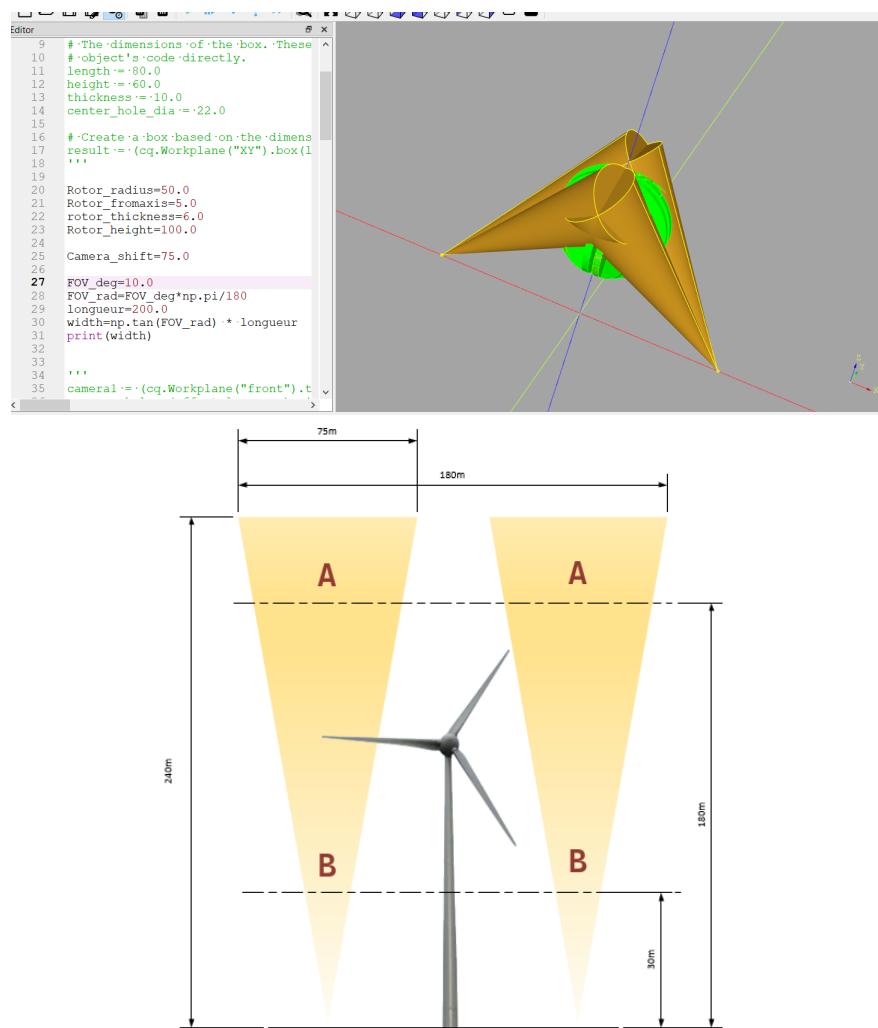


Figure 8 : en haut, illustration d'une étude géométrique combinant 4 caméras (qui n'a finalement pas été retenue) ; en bas, simulation de systèmes d'éclairage commerciaux qui ont au final été écartés en faveur d'une solution propre.



Finalement, un nouveau système a été élaboré et validé. Ce dispositif a été construit autour des propriétés des caméras et des détecteurs sélectionnés, ce qui rend notre approche différente des projets examinés lors du projet préliminaire (résumé en annexe). Ce dispositif est pensé pour une détection exhaustive, un suivi efficient et une identification poussée, tout en étant économique d'un point de vue de l'énergie, de la pollution lumineuse et des efforts de déploiement. Rappelons que l'acquisition de données de qualité simplifie les logiciels de traitement de ces données.

Le nouveau concept sépare la détection, le suivi et l'identification au niveau du hardware et du logiciel (fig. 9). La détection est réalisée avec un détecteur thermique. L'identification est réalisée avec deux caméras. Le suivi est enclenché par le système de détection et, amène à une identification des cibles comme à la documentation du comportement.

La détection est réalisée par un capteur qui balaie le rotor. Pour les caméras, une grande focale peut ainsi être choisie. Ainsi les plus petites chauves-souris seront représentées par au minimum 3x3 pixels (en fonction de la distance à l'éolienne). La vitesse de balayage doit cependant être suffisamment grande pour garantir une détection exhaustive : c'est un défi d'ingénierie. Cette haute vitesse est possible optiquement car le détecteur thermique est rapide en comparaison de la vitesse d'obturation d'une caméra classique.

La nouvelle solution consiste en un seul appareil centralisé avec un seul détecteur thermique, une seule caméra IR, une seule caméra NIR ainsi qu'un éclairage intermittent dirigé. Le tout est piloté par des moteurs. Un système optique adapté à la haute vitesse de balayage a aussi été construit. Le système est compact et, donc facilement déployable. Deux appareils identiques sont utilisés par éolienne, si une exhaustivité des chauves-souris volant rapidement est recherchée en même temps qu'une documentation détaillée des vols mais dans d'autres cas, un seul dispositif suffit. La maintenance est également réduite et simplifiée par rapport au dispositif initial (fig. 1). Des caméras de milieu de gamme ont été choisies pour optimiser les coûts. Des moteurs industriels de haute qualité ont été par contre sélectionnés car le système est soumis à de fortes contraintes d'utilisation.

L'éclairage mobile est utilisé uniquement lors du suivi et de manière intermittente, donc très parcimonieusement. Cette approche résout la question d'homogénéité des contrastes (pour les logiciels). Cet éclairage couvre une petite zone, est donc de puissance modérée, de petite taille et facilement déployable, contrairement à la solution initiale. Une recherche de littérature a été effectuée pour s'assurer que son spectre n'a pas d'impact négatif sur la faune sauvage. Les informations consultées sont peu nombreuses mais abondent dans le même sens.

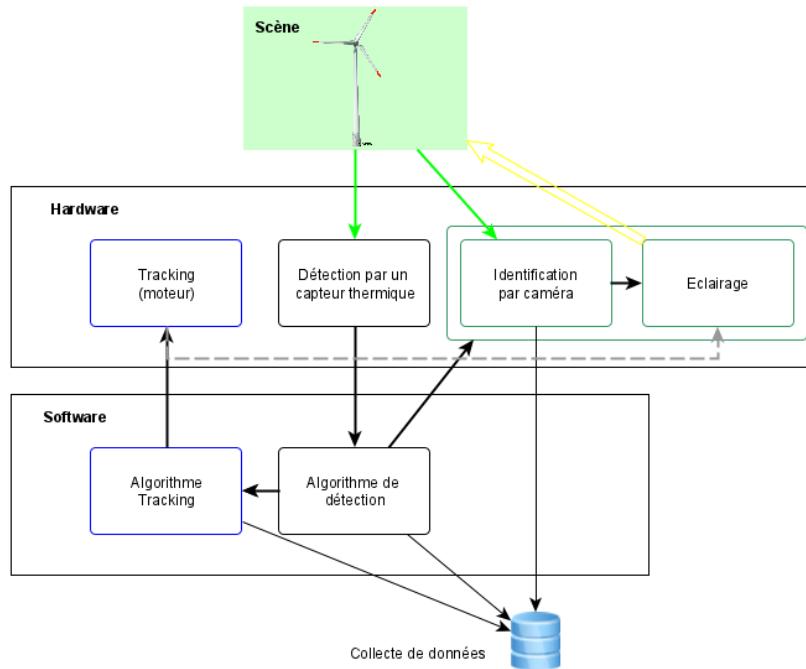


Figure 9 : le nouveau concept sépare la détection, le suivi et l'identification au niveau du hardware et du logiciel.

Les logiciels de traitement d'images sont simplifiés car la détection se fait par un capteur thermique. Un défi est la vitesse de calcul de l'algorithme de détection. Le stockage est réalisé uniquement sur la base de la détection. Les données du détecteur thermique, des coordonnées du suivi et des images des caméras sont conservées. L'ensemble de ces données permet une identification des cibles.

Phase 2 : réalisation mécanique

La réalisation du prototype découlant des acquis de la phase 1 est l'objet de cette seconde phase.

Au-delà de la haute probabilité de détection, la question de la documentation des cibles est centrale. Toute information sur ces cibles permet d'être plus précis sur leur identification et, sur un comportement à risque à proximité du rotor. Une image IR montre dans les meilleures conditions une forme simplifiée, dans le pire des cas un point dont la structure dépend des émissions thermiques de la cible. L'identification est ainsi très limitée. Pour atteindre une meilleure identification, notre système collecte une série d'images dans deux bandes de fréquences distinctes. Ces bandes sont sélectionnées de manière à ne pas affecter le comportement des cibles. Grâce à un mode suivi, le comportement de la chauve-souris, avec ou sans l'occurrence de collision, peut être documenté de manière extensive. Ces données fournissent dans la durée des informations fondamentales pour appréhender le contexte des interactions chauves-souris / éoliennes.

Pour répondre aux objectifs ci-dessus, une caméra IR et un objectif adapté, les deux testés en conditions réelles ont été sélectionnés au dépend d'une solution « caméra-objectif » intégrée. Ce choix plus complexe présente l'avantage de la flexibilité et de pouvoir adapter le système à nos spécifications actuelles et futures. Le logiciel tient compte des caractéristiques de l'objectif, ce qui permet de



le modifier facilement. Cette approche se justifie parce que notre application s'éloigne effectivement des applications IR usuelles à cause du fort éloignement d'une petite source d'émission. Un système « caméra-objectif » IR est destiné à une gamme d'utilisation dont notre application est clairement exclue.

Cette première caméra est complétée par une seconde caméra travaillant dans une bande spectrale plus basse. Elle fonctionne lorsqu'une cible a été détectée, en parallèle de la première caméra IR. Les deux caméras sont montées en grande proximité de manière à simplifier le contrôle des mouvements et éviter des complications causées par une parallaxe optique.

La détection des cibles requiert un balayage rapide du rotor par une « matrice de détecteurs ». Chaque détecteur fonctionne de manière indépendante. La contrainte de vitesse implique des moteurs performants, un système optique propre et un logiciel de détection efficient. Les données brutes des détecteurs sont accessibles, ce qui présente un avantage par rapport à une analyse basée sur des images, typiquement d'une caméra IR.

Le pilotage des moteurs requiert la construction d'un modèle géométrique complexe (fig. 10).

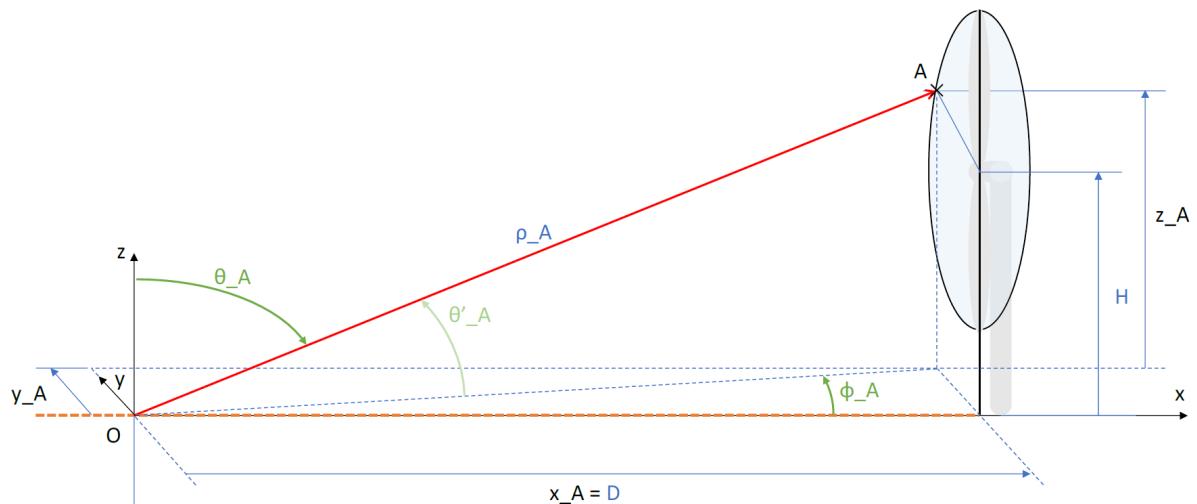


Figure 10 : un modèle géométrique est calculé sur la base de quelques paramètres d'entrée, comme la distance entre l'éolienne et le système ou encore la taille de l'éolienne. Ce modèle est ensuite traduit dans les coordonnées des moteurs pour générer une séquence de balayage.

Une interface graphique permet de contrôler les moteurs, vérifier leur état mais aussi de paramétrier le système sur site (fig. 11).

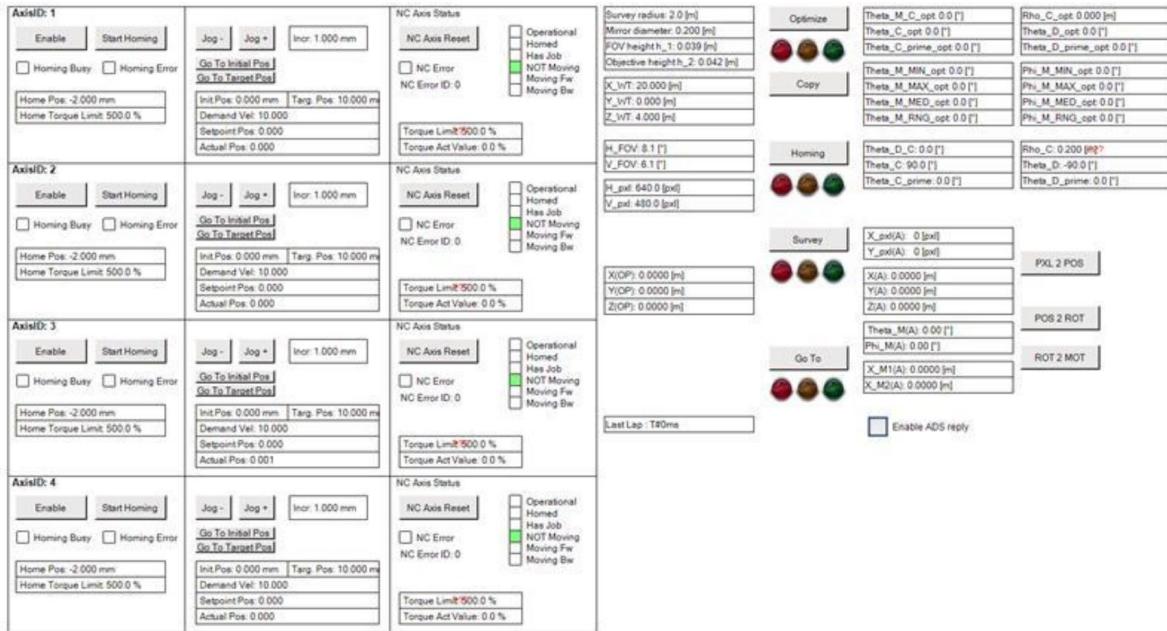


Figure 11 : interface graphique (HMI) de contrôle des moteurs permettant de tester les moteurs ou encore de configurer le système sur le site éolien. Différents paramètres sont introduits permettant ensuite sur des images de vérifier l'étendue du balayage du rotor. Un modèle géométrique permet des transformations entre les systèmes de coordonnées.

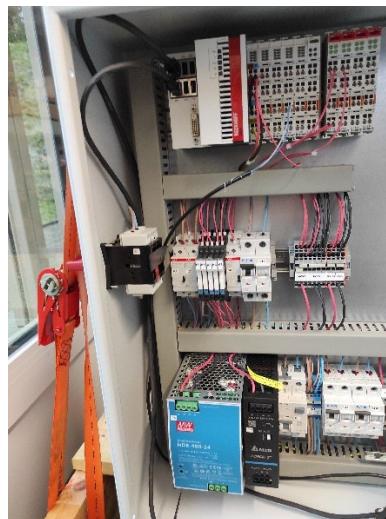


Figure 12 : illustration d'une des armoires électriques utilisée pour piloter le système de surveillance. Chaque armoire a une taille de 600mmX600mm

Le matériel est monté de manière compacte pour simplifier le transport et le déploiement sur le terrain. L'encombrement est principalement lié aux armoires (fig. 12), contenant les pilotes des moteurs, l'alimentation électrique et, les éléments de sécurité électrique. Dans une étape ultérieure, une armature métallique et une boîte de protection seront construites.



La consommation électrique est déterminée essentiellement par les moteurs fonctionnant à haute vitesse durant le mode de détection. Une alimentation 230V~ est requise.

Phase 3 : réalisation du logiciel d'acquisition

Ce logiciel se base sur les interfaces logicielles des fabricants des caméras pour collecter puis analyser les images en mode autonome.

Détection

La détection des cibles se base sur des détecteurs. L'atmosphère étant très variable, la détection doit être adaptative et généralisable à de nombreuses situations. Différents algorithmes ont été développés sur la base des images collectées. Ils démontrent d'excellentes capacités de détection (fig. 13).

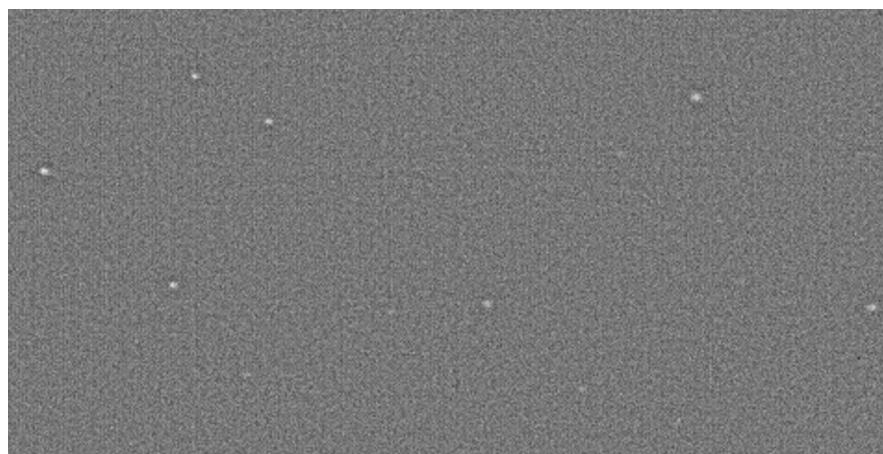


Figure 13 : illustration de la détection de cibles multiples (points blancs). Chaque tâche est une cible potentielle (ici des hirondelles). Plusieurs de ces cibles sont à peine visibles à l'œil nu sur les images brutes.

Le défi consiste à généraliser ces détections pour tenir compte de multiples conditions atmosphériques. Nous estimons dans le cadre du projet ne pas avoir encore couvert tous les cas météorologiques/atmosphériques possibles. L'algorithme doit minimiser les fausses détections et maximiser les vraies détections dans toutes les conditions. Pour remplir ce but, il est nécessaire d'être confronté à toutes ces différentes situations.

De plus, l'atmosphère est stratifiée (fig. 14), ce qui exige un algorithme adapté à des valeurs absolues variant le long d'un gradient d'altitude.

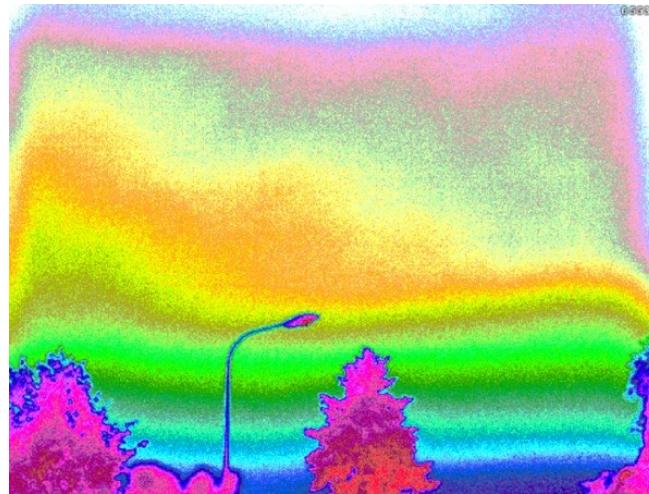


Figure 14 : les strates de température, les échanges thermiques entre ces mêmes strates, ou encore la réfraction atmosphérique sont visibles sur des images IR (ici une image colorée artificiellement avec un objectif de faible qualité).

Un autre défi est la valeur véritable (« ground truth ») du nombre de cibles. La détection à l'œil nu n'est pas une référence fiable comme l'illustre la figure 15.

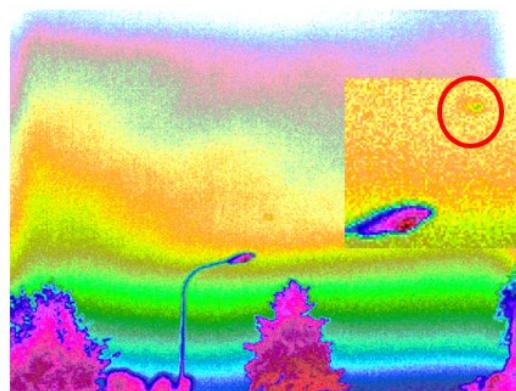


Figure 15 : cette image réalisée lors d'un test de la caméra IR montre une chauve-souris à une distance de 100 mètres au-dessus d'un candélabre. Sur l'image en contraste de gris en haut, la chauve-souris est à peine visible à l'œil nu. En coloriant l'image, la cible est un peu mieux visible.



Des algorithmes simples sont capables de discerner de faibles différences (fig. 16) mais ils ne sont pas facilement généralisables et produisent des fausses détections.

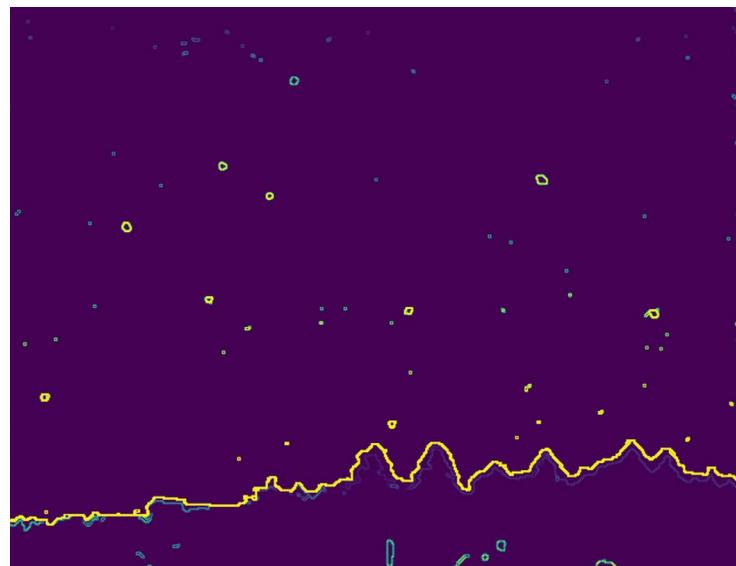


Figure 16 : une détection par filtre et des seuils peut produire beaucoup de fausses détections dans certaines situations, rendant le suivi complexe. La ligne jaune indique la ligne de crête d'une forêt.

Identification

L'identification repose sur la collecte de séquences d'images en provenance des deux caméras. Dans une première phase de déploiement, ces images sont classées manuellement pour constituer une base de données. Les cibles étant détectées à différentes distances, de multiples cas de figure se présentent et rendent ces séquences indispensables pour obtenir des informations, non pas simplement sur la forme (fig. 17) de la cible mais sur son mouvement. Ces mouvements permettront de détecter des collisions éventuelles.

Notre base de données est en construction pour automatiser ce processus d'identification.



Figure 17 : chauve-souris détectée par la caméra thermique à faible distance. Dans ce cas particulier, la détermination d'une chauve-souris est simple.



Phase 4 : test en extérieur sur un site éolien

Le système doit être calibré sur le site éolien. Les paramètres d'entrée sont : la distance entre l'éolienne et le système de surveillance, la hauteur du moyeu de l'éolienne et le diamètre du rotor.

La procédure de mise en œuvre consiste en deux parties : un alignement préliminaire puis un réglage fin.

Les caméras sont montées sur le support et câblées puis le système est mis à l'horizontal grâce aux broches. La cale d'espacement doit être en place pour effectuer le Homing des moteurs. Il faut effectuer ce Homing en utilisant l'interface HMI (fig. 11).

Les paramètres de l'éolienne sont ensuite entrés dans l'interface et les paramètres des moteurs sont calculés automatiquement. Il faut ensuite corriger les inclinaisons et les distances propres au système en fonction des paramètres calculés en ajustant différentes vis.

La procédure dure de 1 à 2h selon la topographie du site et de la précision recherchée. Quand le système est paramétré, il peut être lancer en mode automatique.

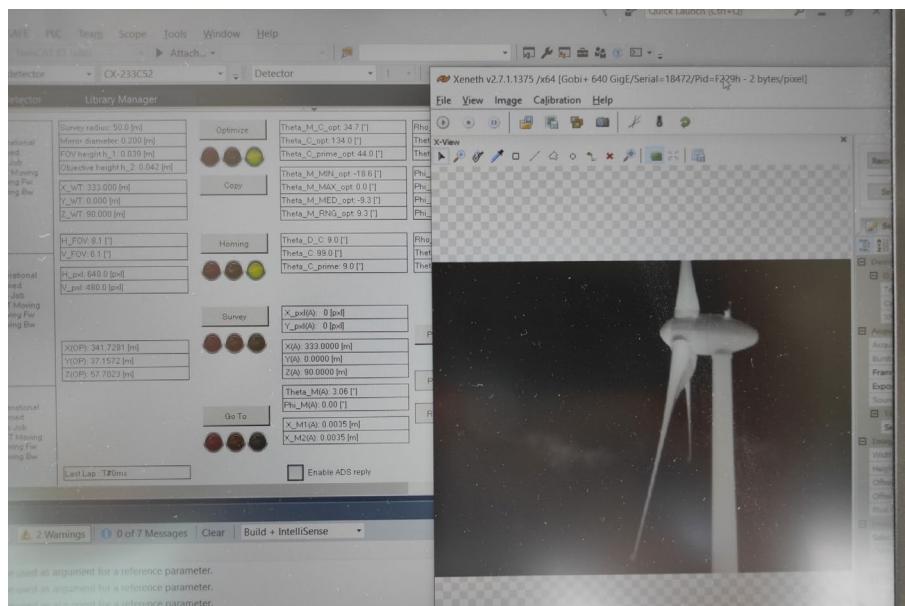


Figure 18 : en combinant l'interface de contrôle et, l'acquisition en temps réel des caméras. Le réglage du balayage peut s'effectuer en extérieur pour chaque situation.

Cette procédure de calibration a été testée sur un site éolien suisse en juillet 2024 (fig. 18).

Pour un déploiement exhaustif, ce système de surveillance est combiné avec d'autres appareils de mesure, comme un radar pour déterminer l'activité des oiseaux en vol, des appareils d'écoute des chauves-souris et des mesures météorologiques. Ces mesures procurent un contexte environnemental aux activités des chauves-souris ainsi que des informations pour améliorer l'identification des cibles.

Phase 5 : constitution d'une base de données

Pour permettre le développement d'algorithmes efficents pour tous les contextes d'observations mais aussi pour permettre une identification plus poussée des cibles, une grande quantité de données doit être collectée et sauvegardée (fig. 19). A ce jour, plus d'en demi-million d'images de cibles mais aussi de ciels divers ont été enregistrées. Cet éventail montre la grande variabilité des conditions atmosphériques et météorologiques qui doit être considérée. Ce processus va encore se poursuivre.

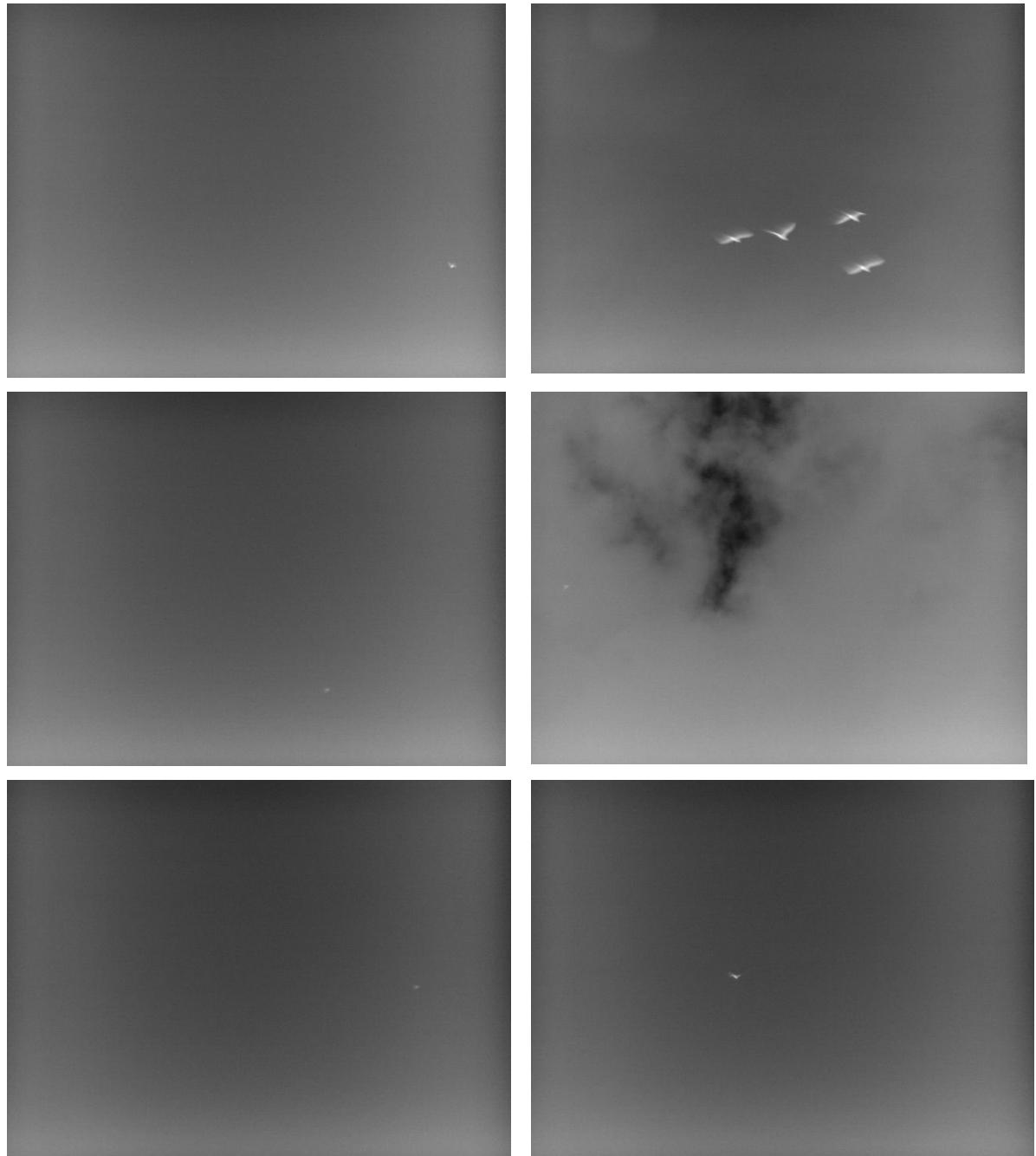


Figure 19 : illustration d'images de cible collectées par le système en fonctionnement autonome. En plus des chauves-souris, les oiseaux sont bien visibles. A faible distance, des formes sont observables, mais à large distance, seule des points parfois faibles sont visibles pour un œil exercé.



3 Conclusions et perspectives

Nous avons construit avec succès un prototype fonctionnel d'un système optique de surveillance comprenant deux caméras aux propriétés différentes, un détecteur thermique, un système d'éclairage, des moteurs et un mécanisme optique permettant de parcourir à grande vitesse le rotor de l'éolienne. De cette manière, le système balaie le rotor de l'éolienne capturant tout objet volant qui s'en approche. Chaque composant du système a été sélectionné spécifiquement et, a été évalué en conditions réelles.

Le concept initial (fig. 1) a été proposé grâce à une étude préliminaire sur les travaux internationaux effectués dans ce domaine (résumé en annexe). Les postulats sous-jacents à ce concept se sont révélés irréalistes voire faux. Ces questions avaient pourtant été abordées au préalable lors de téléconférences avec les auteurs de ces études et par courriels avec d'autres spécialistes. Aucun des auteurs n'avait cependant une formation poussée dans le domaine de l'optique. Plusieurs de ces chercheurs utilisaient d'ailleurs le même modèle de caméra (fig. 2). L'impression forcément subjective qui résulte de cette expérience est celle d'une trop grande focalisation de ces projets sur des résultats rapides (images de chauves-souris) ou sur des nouveautés logicielles. La découverte de ces faits a été une chance pour ce projet, permettant d'amener beaucoup plus d'innovation qu'initialement envisagée mais au prix d'une planification maintes-fois remaniée et finalement très serrée. Finalement, un dispositif novateur a été réalisé et testé (fig. 9).

Le matériel utilisé provient de différents fabricants, principalement européens. Ce choix technologique et de matériel s'est révélé complexe et coûteux en temps. Des caméras devaient être commandées, parfois du Japon, en synchronisation avec l'envoi d'objectifs d'un autre fabricant en Europe. Des délais de plusieurs mois ont aussi été parfois nécessaires et, de multiples formulaires ont été remplis parce que la technologie IR est perçue comme sensible. La gamme de prix des caméras atteignait un facteur 10x. Il n'a ainsi pas été possible de faire des mesures simultanées avec plusieurs caméras. A cause de notre application peu commune, des informations ont dû être cherchées auprès des ingénieurs développement des fabricants, avec souvent des réponses données au conditionnel. Tous ces travaux étaient exclus du concept initial et de la planification initiale du projet. Le choix de la motorisation a été dictée par l'expérience et la connaissance de la HEIG, puisqu'il s'agit ici d'un domaine plus classique de l'ingénierie mais en privilégiant du matériel haut de gamme.

Une autre leçon est la nécessité permanente d'une intégration immédiate en conditions réelles des choix technologiques et conceptuels, surtout pour des applications peu ordinaires. Les spécifications ou l'expérience des représentants ont parfois été fausses, révélant de mauvaises surprises.

Ces conditions-cadres ont exigé une grande flexibilité dans la conduite du projet. Au final, nous avons pu trouver une solution à tous les défis rencontrés pour produire un système fonctionnel. Par contre, la collecte de données sur le terrain a été fortement réduite car l'appareillage et les ressources, surtout temps, ne suffisaient plus.

Rappelons que la métrologie doit toujours être associée avec les résultats pratiques, en particulier quand ces résultats semblent indiquer qu'une technologie ne fonctionne pas. Il ne suffit effectivement pas de « juste » utiliser une technologie mais elle doit d'abord être adaptée aux besoins.

L'objectif actuel est de réaliser des mesures à grande échelle afin de capturer l'ensemble des différents conditions atmosphériques et météorologiques ainsi que des cibles variées (espèces, distances). Le but est de généraliser le fonctionnement du système, en particulier des algorithmes de détection (fausses détections à minimiser). Cette collecte est coûteuse en temps car l'espace aérien surveillé reste modeste par rapport à la taille et la diversité de l'atmosphère et, à la densité des chauves-souris.

Le système doit ensuite évoluer vers un MVP (Minimum Viable Product). Il s'agit avant tout de créer un conteneur adapté et, étanche mais aussi d'apporter des modifications aux logiciels et une télécommunication à distance.

La question de la détectabilité a été maintes fois abordée, surtout par le fait qu'elle varie potentiellement fortement en fonction des conditions atmosphériques (humidité). Il serait possible de mieux la maîtriser,



ce qui serait judicieux pour garantir la confiance en ce système des parties prenantes (« Stakeholders »).

Une étape suivante serait de déployer le système sur un site éolien et de combiner les résultats du système de surveillance avec des recherches de cadavres. Cette comparaison sera probablement exigée tôt ou tard par les parties prenantes, comme les ONGs, voir les autorités.

A titre personnel, nous sommes confiants sur le système réalisé, tout en souhaitant maintenant être confronté à plus de données afin de maîtriser son fonctionnement dans toutes les conditions.

4 Coopération nationale et internationale

Une collaboration internationale a été réalisée dans le cadre du projet préliminaire (résumé en Annexe). Malgré des échanges personnels en téléconférence avec les auteurs de ces études, la refonte du système initiale et le choix des technologies n'ont pas pu être évitées dans le cadre de ce projet (comme envisagé lors de la planification). Effectuer une mesure de qualité pour une application peu commune reste complexe.

Durant la phase de réalisation, le système a été présenté à différentes occasions auprès d'acteurs suisses de l'éolien. Il y a eu des présentations personnelles, des présentations dans le cadre de groupes de travail avifaunistiques liés au développement de parcs éoliens dans le Jura Suisse et, également une présentation à Suisse Eole. Le projet a à chaque fois suscité grand intérêt mais il n'a cependant que peu directement bénéficié de ces échanges car l'expertise (technique) concernant la surveillance optique des éoliennes est faible parmi les acteurs du secteur. A noter que cette surveillance optique se développe aussi pour la maintenance des pales des éoliennes (com. pers. de représentants) et pourraient ainsi devenir plus commune dans le secteur éolien.

5 Publications et autres communications

Une collecte de données plus étendue est requise avant de publier des résultats. La technologie elle-même intéresse peu les parties prenantes qui sont par contre très demandeuses en résultats pratiques (com. pers.). Ces résultats pratiques devront être acquis dans une phase post-projet.

6 Bibliographie

Adams E. M., Gulka J., et Williams K. A., A review of the effectiveness of blanket curtailment strategies in reducing bat fatalities at terrestrial wind farms in North America, en révision par les pairs, **2021**.

Behr O., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F., Nagy M., Niermann I., Reich M. & Simon R., Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II), ISSN (Online) 2366-5459, **2015**.

Corcoran A. J., Schirmacher M., Black E. and Hedrick T. L, ThruTracker : Open-Source Software for 2-D and 3-D Animal Video Tracking, submitted, **2021**.



Voigt C. C., Russo D., Runkel V. and Goerlitz H. R., Limitations of acoustic monitoring at wind turbines to evaluate fatality risk of bats, Mammal Review 51, 559, 570, **2021**.

Smallwood K. S., and Bell D. A., Relating Bat Passage Rates to Wind Turbine Fatalities, Diversity 2020, 12, 84, **2020**.

Solick D., Pham D., Nasman K., et Bay K. Bat activity rates do not predict bat fatality rates at wind energy facilities, Acta Chiropterologica, 22(1): 135–146, **2020**.

J Bernardinoa J., Bispo R., Costaa H. et Mascarenhasa M., Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations, New Zealand Journal of Zoology, Vol. 40, No. 1, 63-74, **2013**.

Adams A.M., Meredith, Jantzen K., Hamilton R. M: and Brockett Fenton M., Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats, Methods in Ecology and Evolution 3, 992–998, **2012**.

Kunz T. H., Arnett E. B., Erickson W. P., Hoar A. R., Johnsson G. D. Larkin R. P. Strickland M. D., Thresher R. W., and Tuttle M. D., Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses, Front Ecol Environ; 5(6): 315–324, **2007**.

7 Annexe

Cette annexe résume quelques informations sur l'étude préliminaire effectuées par L. Münter (Nateco AG). Ce résumé succinct a aussi été présenté dans la demande de financement de ce projet.



SUMMARY OF DISCUSSION: ONGOING/PLANNED RESEARCH AND FIELD STUDIES RELATED TO DETECTION SYSTEMS FOR BATS

In order to better understand the current state-of-the-art research and define what is feasible and required for an efficient impact measurement on bats the following researchers were contacted:

- UMIT (Austria)/ WindForS Project WINSET, Klaus Hochradel und Christoph Happ
Origin: Tirol, Austria and Testfeld WINSET Schwäbische Alb in Germany
- frinat ([Link](#)), Johanna Hurst
Origin: Freiburg im Breisgau, Germany
- Wildlife Imaging Systems LLC (<https://www.wildlifeimagingsystems.com/Link>), Brogan Morton
Origin: USA
- National Renewable Energy Laboratory; John Yarbrough
Origin: USA
- University of Colorado, Aaron Corcoran
Origin: Colorado Springs, Colorado, USA

Below is a summary of their research/work, the insights/recommendations they contributed to our project idea, and an offer of collaboration/next steps:

UMIT/WINDFORS (KLAUS HOCHRADEL AND CHRISTOPH HAPP)

Summary of their research/work:

In their research, they will test the functionality of different IR camera types with a configuration of cameras facing down to the ground for the detection of collision victims. They had also planned to test the effect of vegetation height under the turbines and the ability to detect collision victims that fall to the ground.

Insights/recommendations:

- Achieving a sufficient resolution with thermal camera is critical and can be a challenge.
- If using a camera pointed down to the ground, one needs to mow the field. The heat of the vegetation, especially in the early evening before the surroundings cool, is a relevant perturbation factor and a potential challenge.
- Other existing systems to consider: [B-Finder](#) from Poland. This is an expensive system (150 000 EUR) with three sensors pointing up from WEA Mast. It surveys the area around turbines including 150 % of rotor blade length.
- With each system to develop, one needs to always weight the performance against cost.

Latest insights (received October 2021) :

These results are not yet finalised so are to be understood as preliminary.



Prototype was installed 75 m above a test field and worked with bird and bat phantoms. The bat phantoms were heated to about body temperature (thermal imaging camera), laid out on various surfaces (grass short, long and gravel road) and then the detections were evaluated. ~75% of the phantoms were detected with a false positive rate of 2.5 per hour. The false positives were predominantly nocturnal animals, which can probably be eliminated by small adjustments in the algorithm, in which case the rate would be 0.23 per hour. For the bird phantom, a daylight camera was used and ~84% were detected. Here the false positive rate was approx. 0.2 detections per hour.

The higher the grass, the more difficult the detection. Wind in combination with the grass surface also makes detection more difficult due to the different heat radiation directions of the moving surface.

Offer of collaboration/next steps:

They are happy to share information on the capabilities and cost of different thermal cameras which they analysed.

FRINAT (JOHANNA HURST)

Summary of their research/work:

J. Hurst does apply research and consulting for wind energy projects in Germany and is routinely involved in post-construction monitoring. The experience shows that searches for collision victims is rarely done in Germany and is assumed that the curtailment algorithms function reliably. Sometime dogs to search for victims are used but this is not common. The use of dogs related to this and other questions in biology is increasing and may see more of such solutions in the future.

Insights/recommendations:

A challenge with bird and bat mortality monitoring at wind facilities is that there have been cases found with little activity from bioacoustics monitoring yet high collision. As a result, it would be interesting to monitor possible collisions specifically.

For cameras installed on the ground there is a risk of vandalism and fences are necessary.

Offer of collaboration/next steps:

She is happy to continue to share experiences.

Wildlife Imaging Systems (Brogan Morton)

Summary of their research/work:

Background:

Brogan Morton worked for years in the field of wind operations and monitoring of Energy Systems in the USA. He has now founded a start up to work on using machine learning to solve problems related to wildlife conservation that the wind industry needs. His approach is much applied.

Solutions being developed:



Wildlife Systems was awarded a large grant from the National Science Foundation in the USA and will be working on research, development, and field testing of thermal cameras and near infrared cameras to test the ability to detect flying bats and collisions. The foreseen solution will be to use camera data and machine learning computer vision to model flightpaths and determine the regressions to differentiate a “flying bat” (R2 Value poor, erratic flight path) and a “collided bat” falling (R2 = good- linear regression with less points).

He tested AXIS thermal cameras from Sweden (5000-6000 EUR) and tested [Basler](#) Cameras (e.g. a2A387940). High End FLIR cameras cost more like high end thermal cameras (value is approx. 100 000 USD !).



@ Copyright : B. Morton

A challenge with thermal cameras is the effect of cloud that adds a light haze to the image which makes bats less easy to detect. It is assumed they can still be detected. Another challenge is trees in the background which can be a problem (appear light and the bats has less contrast) but trees can be filtered out. As a result, testing focused on the surrounding environmental (clouds, vegetation emitting heat) disturbances, range of detection, ability to incorporate into a pragmatic system to assist wind energy projects. Further field testing is planned for 2022.

Insights/recommendations:

He is looking for using radars but it is challenging. He assumes it is not easy to differentiate between bats and birds using radars. But he is interested to develop a low-range radars.

The setup being used is with cameras on the ground pointing up set back 20 m from the turbine. He would recommend using 2 and better 3 cameras to cover the rotor swept areas as well as possible. The data needs to be synchronized.

Results from research in general show that the bioacoustics data collected before construction do not correlate with the activity of bats after construction. Thus, it is not a reliable indicator of activity and mortality.

Offer of collaboration/next steps:

He is happy to collaborate in research in an active sense if the interest arises.

National Renewable Energy Laboratory (John Yarbrough)

Summary of their research/work:

Background:



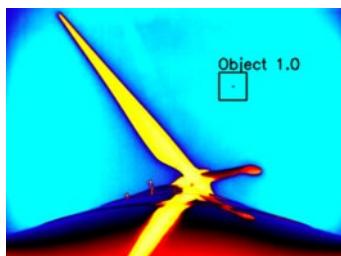
John Yarbrough works at the National Renewable Energy Lab (NREL) and collaborated with Bat Conservation International. He was brought in to apply machine learning and machine vision technology for wind energy and wildlife conservation.

Model being developed:

He is working on developing an open-source code which could achieve object detection and flight path detection on thermal camera data. The code could detect objects by filtering the data (removing background and cloud signals) to identify bats (or birds !) and compute their (2D) flight path. The model could be adapted for different setups. The main idea is to use this to define smart curtailment where turbines are stopped only if high risk bat activity occurs (less operational loss than general shut down algorithms).

The model could be released within the next year (?). The model could be used as is, or could be used as a basis for further development. He is expecting in the future to further develop his model to do multiclass identification to be able to identify objects as birds, bats and insects.

Some examples from John Yarbrough:



Latest insights (received October 2021):

The research group is wrapping up the paper and is going to update the two machine learning models with the latest library using our high-performance computers at NREL.

Comment V. Martin : can such a model (Deep Learning) be deployed for real time data processing? It depends on model complexity and computer resources. The fact that they use high-performance computers raises serious doubt on that possibility (as well as for Transfer Learning ?). So a field processing software with limited computing resource available to avoid storage of large amount of data is still strongly required.

Insights/recommendations:

Camera positioning can be either:

- On a mast behind the turbines.
- on the Turbine (can attach with magnets).
- or on another object such as a tree.

Different groups are working on collision detection of bats. Some use as well microphones (physical impact on blade ?). Challenge is syncing the thermal camera data with the microphone data.

Idea from John Yaborough:



One could look at pointing the thermal camera down at the ground and look at picking up a bat carcass as it falls to the ground. This is an idea that has interested John Yarborough but he hasn't done this yet.

Offer of collaboration/next steps:

NREL is interested in collaboration as it would be very interesting to see how the model works in another setting.

- He is happy to send some NREL sample data and they could provide feedback on our data. If our collected data could be contributing to his repository that would be of great interest for him.

University of Colorado (Aaron Corcoran)

Summary of their research/work:

Background:

Aaron Corcoran has a background in bat biology. In his project ThruTracker ([example](#)), he is computing 3D tracks around turbines based on 2 cameras. He is optimistic that within the next 2 years he should have reliable machine learning models.

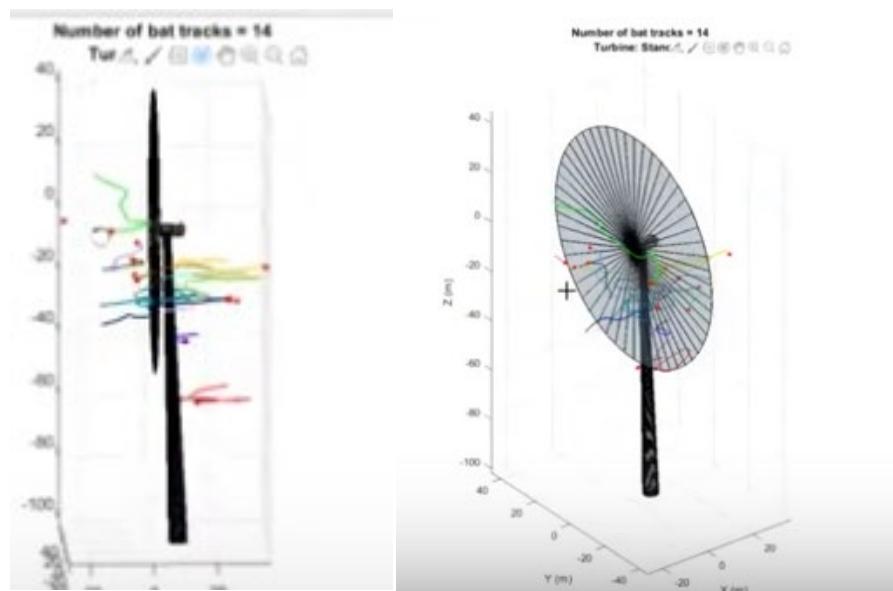
Currently, his methodology is being fine-tuned for better 3D tracking validation. The team is working on proof of concept. A lot of work is going into validation for 3D track modelling as needed to determine the x, y and z true position of tracks. The tools are programmed in Matlab (sic!). The cameras need to be calibrated (sic!).

Main limitation for his 3D track solution:

Given the resolution of the cameras, he cannot capture the entire turbine area. One could address this issue using more cameras but these need to be synchronized which is an additional complexity that needs to be addressed.

Another challenge is the workflow of the data collection and processing, which is currently not in real time. That means if one has two months of recording, it takes four months until one gets processed results out of the data. He is currently working on streamlining the workflow.

Examples 3D Track :



Should it be possible to detect a collision flight path using 3D tracks?
With the way the development of these models is heading, this should be feasible.

He foresees the possible following applications of 3D Tracking data are

- For further science on questions around bat behaviour (e.g. why are bats attracted to turbines)
- For application of monitoring (e.g. monitoring activity to inform smart curtailment algorithms, or to identify bat collisions).

What thermal camera and infrared cameras are used:

- FLIR A65 with 25 mm lenses. A general-purpose camera with electronic inputs for synchronising data. Approx. cost: 8000 USD (price for the USA).
 - Axis Communications cameras (Swedish distributor).

Aaron uses also near infrared cameras for which cost to video quality ratio is particularly good.
Raytec Vario infrared illumination lights are needed. Given the illumination is infrared and thus it is not in the visible light spectrum, insects were indeed never seen to be attracted (they would be attracted to ultraviolet lights).

- Aaron has used Basler machine vision cameras (German distributor). So he can get higher resolution for price point.

Latest Insights (October 2021):

The processing time has been improved greatly. This is however still not real-time analysis.

Insights/recommendations:

A challenge with detecting a collision is that it cannot be assumed that one captures the entire track of the animal during a collision. There will be a track of a flying bat, and then there will be a time



where the rotor blade will block the view, and then there will be track of a bat falling. These track segments would have to be connected to determine that it is one bat that collided.

Missing components/limitation:

Species specific analysis. One could possibly differentiate between a species group of fast flying bat from a species group of slow flying bat. But it will be hard to get more precise than that.

Offer of collaboration/next steps:

He is happy to exchange experiences. He provided his Matlab code to develop our solution.

These discussions were led and summarized by Luisa Muentner



8 Contrôle interne du projet (confidentiel)

Le contenu de ce chapitre sera ensuite supprimé de la version publique du rapport.

9 Plan de gestion des données et stratégie open access/data/model interne (confidentiel)

Les données les plus pertinentes seront rendues publiques, c'est-à-dire les images montrant le comportement des chauve-souris près des rotors car elles servent l'intérêt public. Il ne s'agit pas non plus de faire du sensationnalisme en ne montrant que des collisions mais plutôt d'illustrer tous les comportements des chauves-souris. Si les données le permettent, des publications scientifiques sont envisagées.

Pour automatiser l'identification, une future base de données sera mise à disposition des développeurs en intelligence artificielle.

Ce plan de gestion évoluera en fonction de la quantité de données, qui reste encore incertaine à ce stade. Si toutes les images sont conservées, des téabytes de données peuvent être rapidement générés.

Le contenu de ce chapitre sera ensuite supprimé de la version publique du rapport